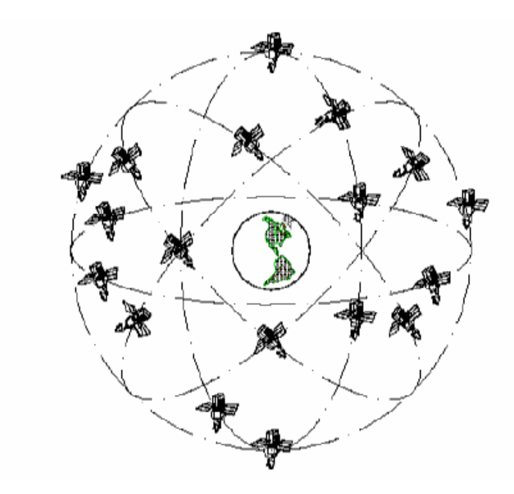

2.1. Subsistema GPS

.

2.1.1. Introducción

GPS es el acrónimo de ***Global Positioning System*** (sistema global de posicionamiento), y es un sistema formado por una constelación de 24 satélites, llamados NAVSTAR, y 5 estaciones repartidas por la superficie terrestre. Gracias a este sistema, un usuario puede determinar con muy poco margen de error su posición en la esfera terrestre y la altitud sobre el nivel del mar a las que se encuentra. Antes de hablar de más detalles y de cómo funciona este sistema, demos paso a un poco de la historia del mismo.



Representación del sistema de satélites

A comienzos de los años 60, la armada y la fuerza aérea norteamericanas decidieron crear un sistema de localización para su armamento, especialmente el nuclear. Este sistema debía ser muy preciso, estar disponible de manera continua, no verse afectado por las condiciones atmosféricas, funcionar en cualquier lugar del globo y de bajo coste.

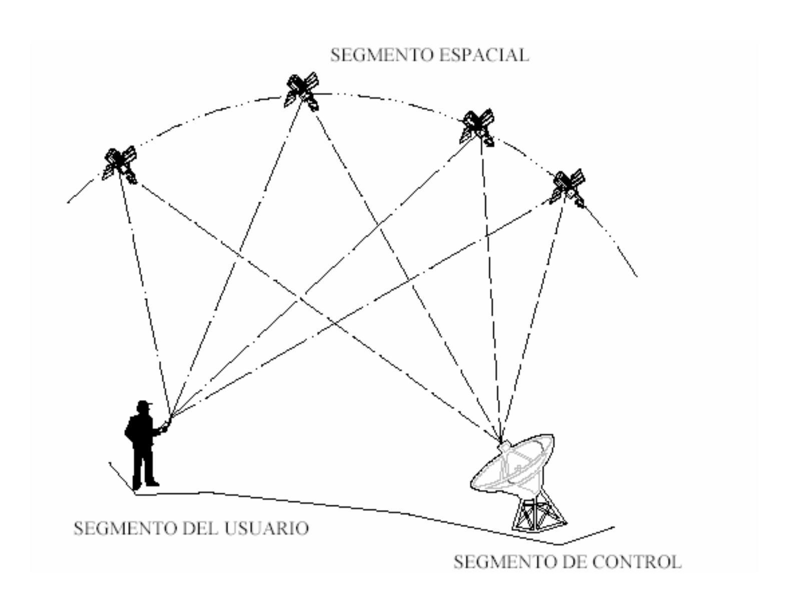
Tras realizar inversiones multimillonarias e investigar diversos proyectos previos y diseñar los satélites que integrarían el sistema, en 1989 se lanzaron los primeros que formarían el GPS. El lanzamiento de los satélites originales prosiguió hasta 1994, cuando se lanzó el 24º. Estos primeros satélites fueron fabricados por la empresa norteamericana Rockwell.

Como sistema diseñado para la guerra, no fue hasta la guerra del Golfo Pérsico, en 1991 cuando se sometió a situación de combate. El GPS cumplió su papel a la perfección. De hecho, en alguna ocasión, algún general llegó a comentar que, junto con la visión nocturna, el GPS fue el elemento de equipamiento relevante en esta guerra.

Afortunadamente, el uso del GPS no es exclusivo del ejército norteamericano. Tras un incidente internacional ocasionado en 1983, el entonces presidente de los EE.UU., Ronald Reagan, anunció que el GPS también estaría disponible para la comunidad civil internacional, si bien el sistema tendría una precisión inferior a la que gozaba el ejército norteamericano. En el 2000, Bill Clinton eliminó esta restricción y actualmente se logran precisiones de hasta 15 metros en usos civiles. A pesar de ello, y dado que el sistema está bajo el control, entre otros, del Departamento de Defensa norteamericano, los receptores no pueden ser capaces de funcionar a más de 18.000 metros de altitud ni a más de 900 nudos (1.667 km/hora) de velocidad. Además, el servicio puede verse sometido a restricciones temporales

2.1.2. Descripción del Sistema GPS

Estos satélites se encuentran en órbitas situadas a 10.900 millas náuticas (20.200 km, aproximadamente) y realizan una circunvalación a la Tierra cada 12 horas. De los 24 en funcionamiento, 21 se encuentran en servicio, mientras que los otros 3 están de reserva. Existen seis órbitas diferentes inclinadas aproximadamente 55º con respecto al Ecuador. Alrededor de cada uno de estos planos giran cuatro satélites que son monitoreados constantemente por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. En Tierra existen cinco estaciones de seguimiento y control: tres estaciones para la alimentación de datos y una estación de control maestro. La estación de control maestro calcula, con los datos de las estaciones de seguimiento, la posición de los satélites en las órbitas (efemérides), los coeficientes para las correcciones de los tiempos y transmiten esta información a los satélites.



Cada uno de los satélites de la constelación NAVSTAR transmite dos señales de radio, L1 con una frecuencia de 1.575,43 MHz y L2 1.227,6 MHz. La señal L1 se modula con dos códigos de ruido pseudoaleatorios (Pseudo Random Noise, PRN), denominados Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS) o código P o protegido, el cual puede ser encriptado para uso militar y el código de adquisición grueso (C/A Coarse/Adquisition) conocido como Servicio Estándar de Posicionamiento (SPS). La señal L2 se modula solamente con el código P.

La mayoría de los receptores de uso civil usan el código C/A para obtener la información del sistema GPS. Además de los códigos, los satélites transmiten a los receptores paquetes de información repetitiva de cinco diferentes bloques con duración de 30 segundos.

Bloque 1: Contiene los parámetros de corrección de tiempo y refracción ionosférica.
Bloques 2 y 3: Contienen información orbital y precisa para el cálculo de efemérides.
Bloques 4 y 5: Información orbital aproximada de todos los satélites del sistema en operación, tiempo universal coordinado, información ionosférica e información especial.

La precisión obtenida con equipos GPS puede variar en un rango entre milímetros y metros dependiendo de diversos factores. Es importante mencionar que la precisión obtenida en la determinación de las coordenadas horizontales (Norte y Este) es de dos a cinco veces mayor que la determinación en la coordenada vertical o cota.

En general la exactitud obtenida en mediciones con GPS dependen de los siguientes factores:

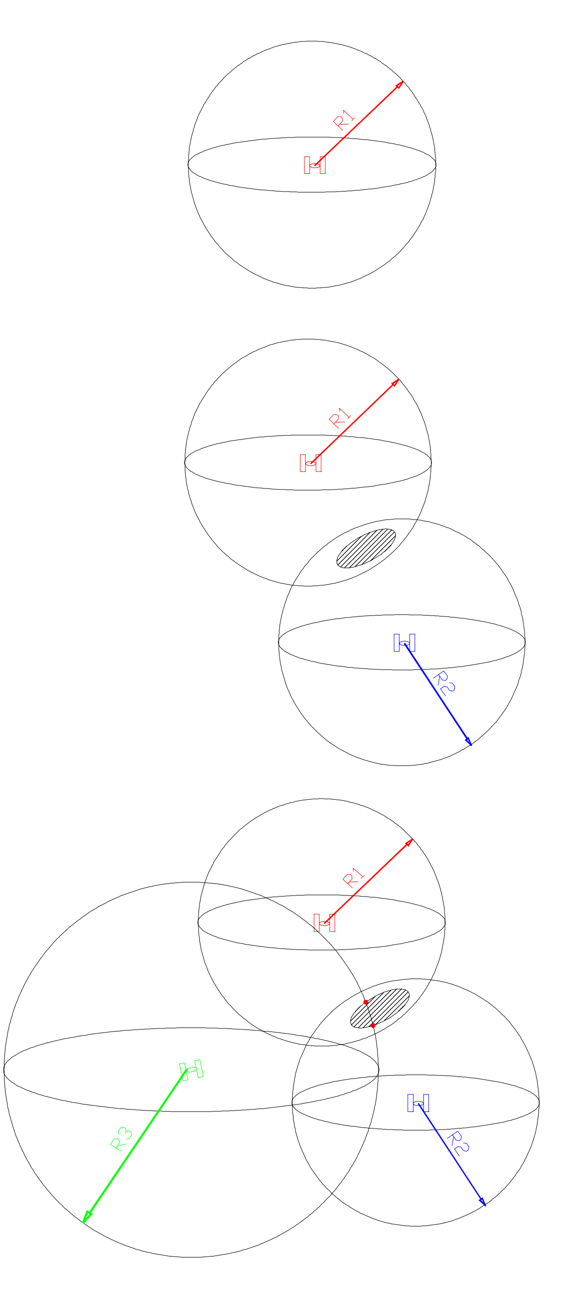
* Equipo receptor
* Planificación y procedimiento de recolección de datos
* Tiempo de la medición
* Programas utilizados en el procesamiento de datos.

Existen dos tipos de exactitudes, la absoluta y la diferencial. En cuanto a la exactitud absoluta, utilizando el Servicio Estándar de Posicionamiento (SPS) se pueden obtener exactitudes en el orden de 20 m. Si se usa el Servicio Preciso de Posicionamiento (PPS), o código P se pueden obtener exactitudes entre 5 y 10 m. En cuanto a la exactitud diferencial, se pueden obtener exactitudes de hasta ± 0,1-1 ppm y en proyectos científicos con equipos adecuados y un riguroso control en todas las etapas del trabajo se pueden lograr exactitudes de ± 0,01 m ± 0,1 ppm.

2.1.3. Fundamentos para el cálculo de la Posición

El sistema de posicionamiento global por satélite o GPS, se basa en la medición de distancias a partir de señales de radio transmitidas por un grupo de satélites artificiales cuya órbita se conoce con precisión y captadas y decodificadas por receptores ubicados en los puntos cuya posición se desea determinar.

Si medimos las distancias de al menos tres diferentes satélites a un punto sobre la tierra, es posible determinar la posición de dicho punto por trilateración. Para llevar a cabo este proceso, el receptor GPS calcula la distancia hasta el satélite midiendo el tiempo que tarda la señal en llegar hasta él. Para ello, el GPS necesita un sistema muy preciso para medir el tiempo.



Supongamos que un receptor en la Tierra capta la señal de un primer satélite determinando la distancia entre ambos. Esto solamente nos indica que el receptor puede estar ubicado en un punto cualquiera en la superficie de una esfera de radio R1 tal y como se muestra en la figura.

Si medimos la distancia de un segundo satélite al mismo receptor se generará una superficie esférica de radio R2, que al intersecarse con la primera esfera se formará un círculo en cuyo perímetro pudiera estar ubicado el punto a medir.

Si agregamos una tercera medición, la intersección de la nueva esfera con las dos anteriores se reduce a dos puntos sobre el perímetro del círculo descrito. Uno de estos dos puntos puede ser descartado por ser una respuesta incorrecta, bien sea por estar fuera de espacio o por moverse a una velocidad muy elevada.

Matemáticamente es necesario determinar una cuarta medición a un satélite diferente a fin de poder calcular las cuatro incógnitas x, y, z y tiempo.

La distancia de un satélite a un receptor se calcula midiendo el tiempo de viaje de la señal de radio desde el satélite al receptor. Conociendo la velocidad de la señal de radio, la distancia se determina por medio de la ecuación de movimiento con velocidad uniforme.

$$D=v \cdot t$$

D = distancia en kilómetros desde el satélite al punto considerado

v = velocidad de la señal de radio, aproximadamente la velocidad de la luz.

t = tiempo de viaje de la señal en segundos

$$(X_i-U_x)^2 + (Y_i-U_Y)^2 + (Z_i-U_Z)^2 = (PR_i-B_c)^2 \quad ; i=1\ldots4$$

Xi,Yi,Zi = posiciones de los satélites, transmitidas por ellos mismos

PRi = distancias a los 4 satélites (pseudo-rangos)

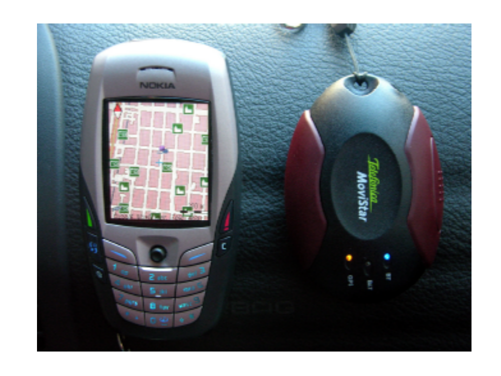
Ux,Uy,Uz,B = incógnitas

Este cálculo plantea algunos problemas ya que, entre otros, su duración es muy pequeña (en algunos casos puede llegar a ser de 0,067 segundos). Para poder medir el tiempo de viaje de la señal, es necesario conocer el instante en que la señal parte del satélite. Esto se logra generando códigos pseudoaleatorios tanto en el satélite como en el receptor y sincronizando ambas señales de manera que sean generadas al mismo tiempo, luego, comparando las dos señales, se mide el desfase en tiempo en el que la señal del satélite y la del receptor generan el mismo código.

Hoy en día son muchas las marcas que comercializan receptores GPS en el mercado. Los hay con diferentes características, niveles de precisión, representación gráfica…







2.1.4. RGM-3000

Para la aplicación que se iba a realizar necesitábamos un receptor GPS simplemente, no un equipo con pantalla LCD y el software necesario para la representación de las coordenadas (navegador). Lo que si se requería era un canal de comunicación como era un puerto serie.

El GPS elegido ha sido el modulo RGM-3000 de la marca Royaltek y que estaba disponible en el departamento de Tecnología Electrónica de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. Algunas de las características más importantes de dicho módulo son las siguientes:

General	12 canales
	L1 1575.42 MHz
	Código C/A 1.023MHz chip rate
Alimentación	3.3V ± 10%
	170 mA máx
Protocolo	NMEA 2.2 GSA, GGA,GSV,y RMC, Baud Rate 4800
Frec.Refresco	1Hz
Datum	WGS-84
Precisión	Posicion: 10m
	Velocidad: 0.1 m/s
Mecánicas	21mm x 28mm x 12.75mm
	30g
*Para más información acudir al manual de usuario referenciado en la bibliografía	

1	VCC	Alimentación
2	VCC	
3	GND	Masa
4	GND	
5	RXA	RX serie A
6	TXA	TX serie A
7	RXB	RX serie B
8	TXB	TX serie B
9	BOOTSEL	Reset
10	Reserved	No usado

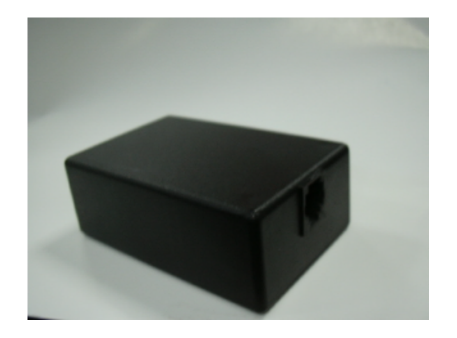
11	VBAT	Batería Externa
12	Reserved	No usado
13	GPIO3	I/O pin. Uso general
14	TIMEMARK	Pulso cada segundo
15	GPIO6	I/O pin. Uso general
16	GPIO5	I/O pin. Uso general
17	GPIO10	I/O pin. Uso general
18	GPIO7	I/O pin. Uso general
19	GPIO15	I/O pin. Uso general
20	GPIO13	I/O pin. Uso general

En las siguientes imágenes vemos el diseño de la PCB ya que el módulo utilizado tiene un conector de comunicaciones de paso 1.27mm y ha sido necesario realizar la conversión a un conector paso 2.54mm para la portabilidad del modulo a otros sistemas. Otra de las mejoras que se introduce en la PCB es la colocación del regulador de tensión con los condensadores de filtro, ya que el módulo va alimentado a 3,3V. En las imágenes inferiores vemos el módulo montado sobre la PCB.

Cara Componentes	Cara Soldadura

Por ultimo se ha encapsulado el módulo dentro de una caja de plástico para evitar el deterioro del mismo y a la vez permitir que se reciban las señales de los satélites correctamente.

Para su conexión al exterior se ha utilizado un conector de teléfono. En la siguiente imagen vemos como queda el conjunto completo.

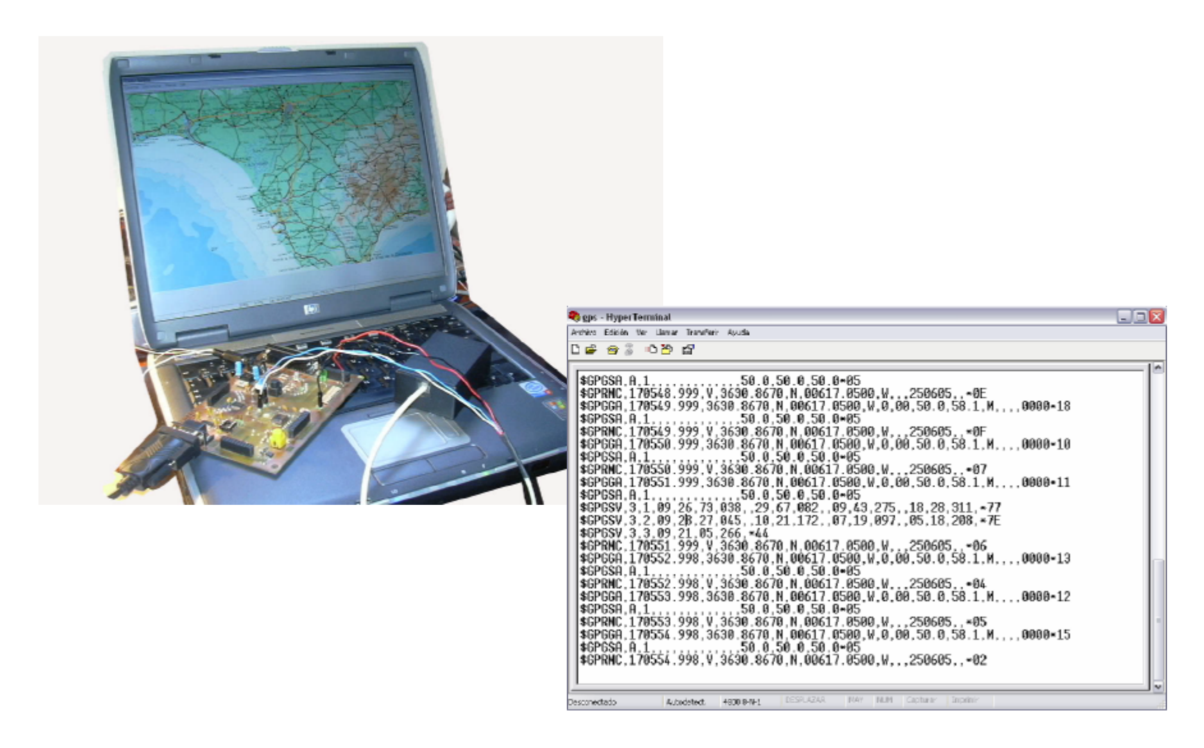




2.1.5. Protocolo de Comunicaciones y Configuración

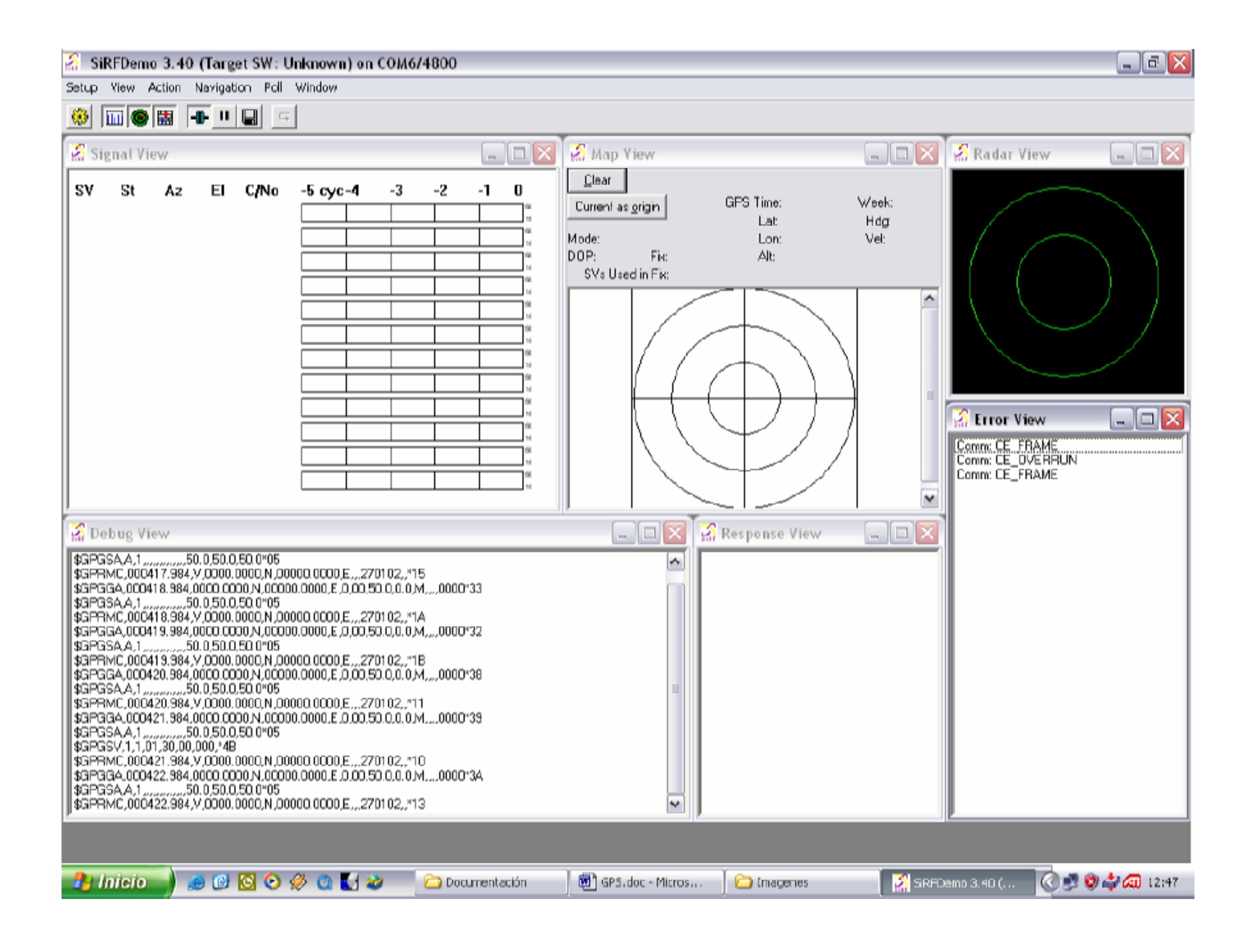
Como se ha comentado anteriormente, el módulo dispone de dos puertos serie para la comunicación con el equipo o sistema receptor. El puerto que se usa para el envío de los datos es el puerto A y son las dos conexiones disponibles que tenemos en el conector de teléfono, además de VCC y GND.

Alimentando y conectando las señales RX y TX del módulo a un MAX232, para posteriormente usar la conexión RS232 al PC, podemos ver que el GPS comienza a funcionar automáticamente. No tenemos más, que abrir una ventana en el hyperterminal para ver los datos que nos está enviando.



Posteriormente explicaremos el formato de estos mensajes, pero en primer lugar veamos algo más acerca de la configuración del módulo.

Con el programa SiRFDemo 3.40, que nos suministra el fabricante podemos monitorizar los mensajes que nos manda el GPS, además de configurar ciertos parámetros del mismo, como son los mensajes NMEA que nos debe mandar, la frecuencia de los mismos, el baudrate de las comunicaciones, el protocolo a usar…. En la imagen inferior vemos una captura de dicho programa donde se ven algunos de los datos que nos muestra el GPS.



La configuración debemos realizarla desde la opción Action->Switch to SiRF Protocol. Entonces el formato de envío cambiará de NMEA a SiRF y cuando volvamos a cambiar a NMEA nos aparece una pantalla donde elegimos los mensajes a enviar y la velocidad del puerto serie.

2.1.6. Comandos NMEA

La comunicación con el GPS se puede realizar mediante protocolo SiRF o bien con los comandos NMEA (National Marine Electronics Association). Esta asociación se encarga de definir un estándar, el NMEA 0183, que consiste en una interfase eléctrica y un protocolo de datos para la comunicación entre instrumentos marinos. NMEA se establece como un grupo de trabajo para el desarrollo de nuevos estándares de comunicación de datos para dispositivos marinos a bordo de las embarcaciones. Este protocolo se lanza por primera vez en marzo de 1983, y su última versión fue publicada en el 2001.

El protocolo NMEA es usado para la comunicación entre dispositivos de uso marino para transmitir datos. La salida NMEA es EIA-422A, pero para la mayoría de los propósitos puede considerarlo RS-232 compatible. Todos los datos son trasmitidos a través de sentencias con caracteres ASCII, cada sentencia comienza con “$” y termina con <CR><LF>. Los primeros dos caracteres después de “$” son los que identifican el equipo, (por ejemplo “GP” que se usa para identificar los datos GPS) y los siguientes tres caracteres es el identificador del tipo de sentencia que se está enviando. Los tres tipos de sentencias NMEA que existen son los de envío (Talker Sentences), Origen del equipo (Proprietary Sentences) y consulta (Query Sentences). Los datos están delimitados por coma, deben incluirse todas las comas, ya que actúan como marcas. Una suma de verificación adicional es agregada opcionalmente (aunque para algunos tipos de instrumento es obligatoria).

Los comandos soportados por este GPS son los siguientes:

Comando NMEA	**Descripción**
GGA	Datos Fijos del Sistema Global de Posicionamiento
GSA	Modo de operación de receptor GPS, Satélites empleados para navegación y valores DOP
GLL	Posición Geográfica Latitud-longitud
GSV	Número de Satélites en vista, números de PRN, elevación, azimut & valores SNR.
RMC	Mínimo de Datos Específicos Recomendados.
VTG	Velocidad sobre la tierra y velocidad de la misma.

Las cadenas ASCII que veíamos en la pantalla del hyperterminal se corresponden con los NMEAs que nos envía el GPS y que separados por campos son los siguientes:

GPRMC: Recommended Minimum

Campo	Unidad	Descripción
$GPRMC		Cabecera mensaje
142231.235	hhmmss.sss	Posición UTC
A		Estado A→ válido; V → válido
3641.2356	ddmm.mmmm	Latitud
N		N=norte S=sur
00641.5687	dddmm.mmmm	Longitud
W		W=Oeste E=este
0.13	nudos	Velocidad
258.56	grados	Rumbo
100505	ddmmaa	Fecha
	grados	Variación magnética
*15		CheckSum
<CR><LF>		

GPGLL: Geographic Position

Campo	Unidad	Descripción
$GPGLL		Cabecera mensaje
3641.2356	ddmm.mmmm	Latitud
N		N=norte S=sur
00641.5687	dddmm.mmmm	Longitud
W		W=Oeste E=este
142231.235	hhmmss.sss	Posición UTC
A		Estado A=válido; V=no válido
*1A		CheckSum
<CR><LF>		

GPGGA: Global Positioning System

Campo	Unidad	Descripción
$GPGGA		Cabecera mensaje
142231.235	hhmmss.sss	Posición UTC
3641.2356	ddmm.mmmm	Latitud
N		N=norte S=sur
00641.5687	dddmm.mmmm	Longitud
W		W=Oeste E=este
1		Indicador Posición (0-8)
05		Satélites Usados
1.0		Precisión de la Dilución horizontal
9.0	metros	MSL altitude
M	metros	Unidad
	metros	Separación del Geoide
M	metros	Unidad
	segundos	Diferencia de correlación (DGPS)
0000		Diferencia estación Referencia
*18		CheckSum
<CR><LF>		

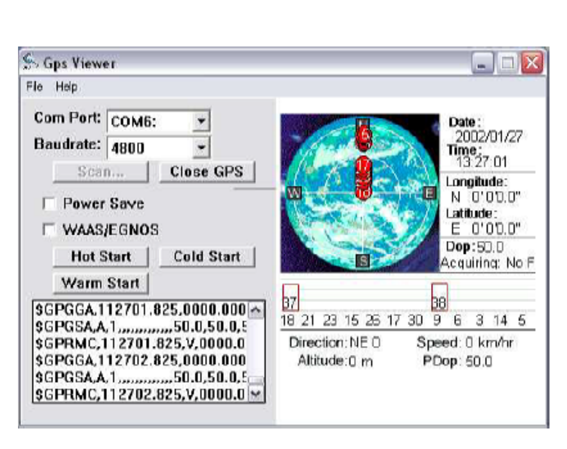
GPGSA: Active Satellites

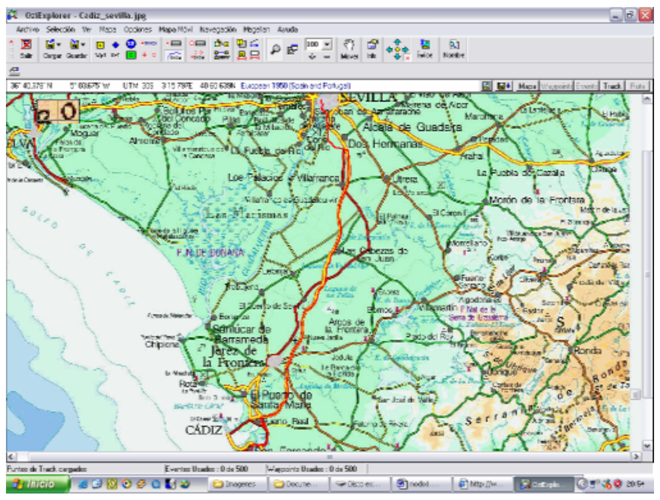
Campo	Unidad	Descripción
$GPGSA		Cabecera mensaje
A		Modo 1
3		Modo 2
07		Satélite usado en canal 1
04		Satélite usado en canal 2
		…
		…
05		Satélite usado en canal 12
1.8		Precisión de la Dilución en posición
1.1		Precisión de la Dilución horizontal
1.6		Precisión de la Dilución vertical
*2A		CheckSum
<CR><LF>		

GPGSV: Satellites in View

Campo	Unidad	Descripción
$GPGSV		Cabecera mensaje
2		Numero de mensajes total (1-3)
1		Numero de mensaje (1-3)
07		Satélites a la vista
05		Id Satélite (canal 1)
85	grados	Elevación
032	grados	Azimuth
45	dBHz	SNR(C/no)
…		
13		Id Satélite (canal 4)
60	grados	Elevación
082	grados	Azimuth
42	dBHz	SNR(C/no)
*8A		CheckSum
<CR><LF>		

Con todo lo dicho hasta ahora, tenemos el conocimiento suficiente como para poder recibir datos del módulo GPS y poder interpretarlos. A partir de ahora se comenzarán a hacer pruebas usando programas que hemos ido buscando en la red para ver las diferentes respuestas del módulo (GPSViewer) así como la conexión del GPS con OziExplorer.





A continuación comenzamos a desarrollar una aplicación en un lenguaje de programación de alto nivel para englobar todas posibilidades estudiadas anteriormente del receptor GPS.